



## **Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales**

### **Trabajo de Fin de Grado**

# **Estimación de la producción primaria neta de epífitos en praderas de fanerógamas de la bahía de Cádiz**

Alexandre Martínez Schönemann

Tutor del trabajo: Fernando G Brun Murillo

En Puerto Real a 30 de junio de 2014

# Índice

Resumen	4
1. Introducción	6
1.1. Objetivos	8
2. Material y métodos	9
2.1. Localización de las zonas de muestreo	9
2.2. Procedimiento experimental	11
2.2.1. Producción de epífitos y crecimiento	11
2.2.2. Escalado de la producción primaria neta epífitos	14
2.2.3. Abundancia epífita	15
2.2.4. Analisis Estadísticos	15
3. Resultados	16
3.1. Abundancia epífita	16
3.2. Producción de epífitos	17
4. Discusión	22
4.1. Aporte de producción neta epífita a la producción neta total de las praderas de fanerógamas marinas	22
4.2. <i>Mimics</i> como herramienta para el estudio de la producción epífita	23
4.3. Variaciones estacionales de la producción	24
4.4. Similitudes entre el comportamiento de la abundancia y el de la producción	24

4.5. Efecto de las variaciones en las características ambientales del entorno	24
4.6. Efecto de las diferencias de producción epífita entre dos poblaciones de fanerógamas diferentes	25
5. Conclusiones	25
6. Bibliografía	27

## **“Estimación de la producción primaria neta de epífitos en praderas de fanerógamas de la bahía de Cádiz”**

Martínez Schönemann A.

### Resumen

Los organismos epífitos son un importante elemento en los sistemas de las praderas de fanerógamas marinas. Su presencia influye en el desarrollo de la especie sobre la cual se fija, teniendo una relación de competencia por nutrientes y luz. Por otro lado ofrece protección frente a la desecación en bajamar y constituye una base para la alimentación de multitud de especies. La producción de los organismos epífitos puede alcanzar niveles importantes en comparación a la producción total de la pradera. Con el objetivo de conocer la magnitud de la producción neta de epífitos en las praderas de la bahía de Cádiz se diseñó un experimento que mostrara la evolución de la producción neta a lo largo de las estaciones del año. Para ello se seleccionaron dos zonas con diferentes características ambientales, que presentan diferentes intensidades de corriente y renovación de agua. En cada zona y en cada estación se seleccionaron 30 ejemplares de *Cymodocea nodosa* a los cuales se les extrajeron sus epífitos. Posteriormente se replantaron de forma cruzada en las dos zonas y se acompañaron de 10 plantas artificiales para controlar el efecto de las defensas naturales de las plantas. Tras un periodo de tiempo conocido se recogieron y se midió la biomasa producida. Se obtuvo una producción neta de entre 140.15 (g p.s./m<sup>2</sup> y año) y (16.47 g p.s./m<sup>2</sup> y año) dependiendo de la zona, esto representa entre el 12.3% y el 1.62% de la producción neta total de las praderas de la bahía. También se observaron diferencias entre las zonas, siendo la zona con menor corriente y menor renovación la que presenta mayores niveles de producción. De la utilización de mimics se obtuvieron resultados equiparables a los resultados en las plantas lo que demuestra que son una buena herramienta para estimar la producción.

## **“Estimation of the epiphyte primary production in seagrass meadows from Cádiz bay”**

Martínez Schönemann A.

### **Abstract**

The epiphytes organisms are an important element on the seagrass meadow systems. On the one hand these organisms have an effect on the development of the specie that it colonizes, playing a role of competence for nutrients and light. On the other hand they provide protection against drying at low tide and also constitute a basis for feeding many species. Epiphytic's production may reach significant levels in comparison to global meadow's production. In order to know the magnitude of the epiphyte's net production on the meadows located in Cadiz bay, an experiment to show the evolution of net production was designed for all seasons. For this, two areas with different environmental characteristics were selected, which present different current intensities and water renovation. From each zone and season 30 *Cymodocea nodosa*' specimens were taken, which epiphytes were extracted. Later, the plants were crossed replanted in both areas and ten artificial plants were added, in order to check the effect of the plants' natural shields. After a known period of time, the samples were taken and the produced biomass was measured. The result was a net production between 140.15 (g DW/m<sup>2</sup> and day) and (16.47 g DW/m<sup>2</sup> and day) depending on the zone, this production represents between a 12.3% and 1.63% of the seagrass' total net production of the bay. Differences between the areas were also observed, being the area with less intensity of current and less renewal the one with higher production levels.

## 1. Introducción

Las algas epífitas son productores primarios que se fijan y crecen utilizando como sustrato otras algas o plantas, como las fanerógamas marinas. En el caso de las fanerógamas marinas la superficie foliar es el sustrato adecuado para la fijación y crecimiento de colonias y/o individuos epífitos (Hemminga y Duarte ,2000). Estas algas pueden tener desde un tamaño microscópico, las algas unicelulares, hasta macroalgas de varios centímetros de largo (Hemminga y Duarte ,2000).

Es importante conocer el comportamiento de los organismos epífitos ya que estos están íntimamente relacionados con las praderas de fanerógamas marinas influyendo en muchos aspectos de este importante ecosistema. Debemos conocer los aspectos que influyen en las praderas de angiospermas marinas ya que estas son altamente productivas y comportan grandes beneficios para el ecosistema como proporcionar refugio para otras especies, creando zonas de puesta o para la estabilización del sedimento y su efecto en la turbidez. También mantienen una alta diversidad de invertebrados y peces, lo que presenta un importante servicio del ecosistema (Heck Jr y Wetstone ,1977);(Beck et al. ,2001); (Heck et al. ,2003).

Entre los aspectos que influyen en las praderas encontramos una íntima relación con las algas epífitas ya que compiten entre sí por la disponibilidad de nutrientes y luz (McRoy y Goering ,1974);(Brush y Nixon ,2002) pero también las algas pueden proteger a la pradera de altas dosis de insolación (Vergara, com. pers.) y además la presencia de diferentes especies de epífitos puede incrementar el tiempo de vida de diferentes partes de la planta (Hemminga y Duarte ,2000). El comportamiento de las plantas como sustrato también influye en los organismos epífitos, debido a que la distribución de la biomasa epífita varía en función de la edad de la hoja y por lo tanto, su abundancia está condicionada por su velocidad de crecimiento y por la tasa de renovación de las hojas. Por lo tanto, los epífitos han de crecer más rápido que el tiempo que tardan las hojas es desprenderse y renovarse.

Los sistemas de praderas marinas son grandes productores primarios de los sistemas costeros, presentan producciones de 120 gramos de C por m<sup>2</sup> de pradera y año (Duarte et al. ,2010) y pueden llegar a presentar producciones más elevadas como en el caso particular de la bahía de Cádiz donde encontramos 1000 gramos de peso seco por metro cuadrado y año (FAMAR). La producción primaria de las praderas de fanerógamas

marinas es debida en su mayor parte a la producción propia de estas plantas pero los demás productores primarios en el sistema también contribuyen a la producción total. A parte de las macroalgas y microalgas bentónicas, las algas epífitas asociadas a las hojas de las fanerógamas comportan una parte de la producción del sistema (Penhale ,1977), de hecho se estima que entre el 20% y el 60% de la producción epígea en las praderas de fanerógamas sea debido a la producción epífita (Morgan y Kitting ,1984); (Daehnick et al. ,1992);(Pollard y Kogure ,1993).

El comportamiento de los epífitos ha sido objeto de numerosos estudios desde tiempo atrás, observando su variación estacional (Humm ,1964);(Reyes-Vasquez ,1970); (Brauner ,1975) o su acumulación y efecto de ensombrecimiento (Bulthuis y Woelkerling ,1983). También se ha tratado el tema secundariamente, relacionándolo con la producción total de la pradera (Brouns y Heijs ,1986), pero en pocas ocasiones se ha observado su producción neta en el medio preservando las condiciones naturales (Penhale ,1977);(Heijs ,1984).

La especie *Cymodocea nodosa* presenta las mejores características para el estudio *in situ* de la producción en la Bahía de Cádiz. En este sistema contamos con tres de las cuatro especies de fanerógamas marinas de Europa, *Zostera marina*, *Z. noltei* y *Cymodocea nodosa* (Hernández et al., 2010); debido a las características de la especie *C. nodosa*, tanto morfológicas como de ubicación y abundancia, es la ideal para estudiar la producción epífita de la Bahía de Cádiz. Las praderas de *C. nodosa* están estructuradas en parte subterránea, con rizoma y raíces (las cuales pueden llegar a alcanzar los 20 cm de longitud) y parte aérea o pígea con hojas (las hojas de esta especie pueden llegar a medir cerca del metro de longitud y 4 mm de grosor) agrupadas en haces de entre 2 y 5 hojas.

Dentro de la propia bahía existen variaciones en las condiciones ambientales. Es un hecho a destacar debido a que influye en la morfología de las praderas y también en la composición de especies epífitas y su abundancia relativa. Se ven influenciadas por condiciones como la exposición al oleaje, corriente y salinidad así como de las variaciones estacionales (Kendrick et al. ,1988); (Kendrick y Burt ,1997).

## **1.1. Objetivos**

El principal objetivo ha sido estimar la producción primaria neta de algas epífitas en praderas naturales de *Cymodocea nodosa*.

Secundariamente se ha tenido como objetivo determinar los factores que controlan dicha producción; condiciones ambientales externas, características de las plantas como sustrato y la estacionalidad.



## 2. Material y métodos

### 2.1. Localización de las zonas de muestreo

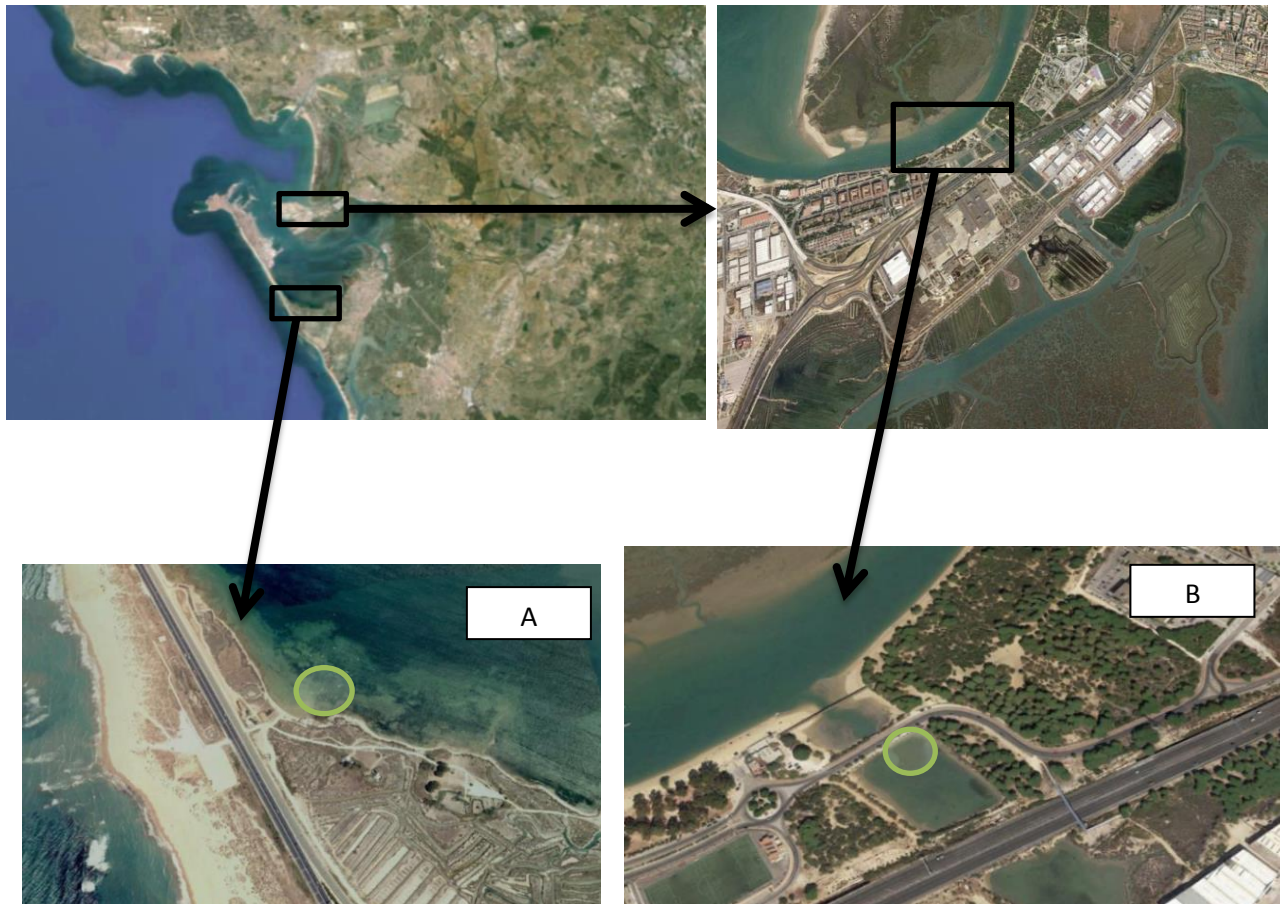
La experimentación *in situ* se llevó a cabo en la bahía de Cádiz (sur de España) en dos zonas con presencia de la angiosperma marina *Cymodocea nodosa*, que poseen tanto condiciones bióticas como abióticas diferenciadas: una zona de laguna y una zona de caño mareal. Ambas zonas se seleccionaron debido a que las características del entorno son un factor de gran importancia en el desarrollo y producción de epífitos, al estar éstos muy condicionados por la hidrodinámica, disponibilidad de luz, por los niveles de nutrientes en el agua y por la presencia de organismos herbívoros. De entre las fanerógamas marinas disponibles (*Zostera marina*, *Zostera noltei*, *Cymodocea nodosa*), se seleccionó *C. nodosa*, debido a su abundancia, a que se encuentra presente en diferentes ambientes de la bahía y a que existen poblaciones que permanecen siempre sumergidas, lo que evita la pérdida de epífitos por exceso de temperatura y radiación.

De un modo más concreto se seleccionaron:

- **Zona 1**, que se encuentra situada en Santibañez, en el saco interno de la bahía de Cádiz (Figura 1, A). El saco interno es una zona somera, con una influencia mesomareal semidiurna y una gran riqueza de flora y fauna marina. En su interior alberga numerosas praderas de las tres especies de fanerógamas marinas, *Zostera marina*, *Z. noltei* y *Cymodocea nodosa* (Hernández et al. 2010). La pradera de *C. nodosa* sobre la cual se ha llevado a cabo el estudio se encuentra en la zona submareal de la playa de Santibañez con sedimento fangoso, rodeada de la macroalga enraizante *Caulerpa prolifera* y marismas (alrededor del punto 36°28'7.06"N, 6°15'9.67"O). Existe una buena renovación de agua en la zona debido a las mareas y la diversidad de especies puede considerarse alta (González-Ortiz 2009).

- **Zona 2**, que se encuentra entre las poblaciones de Puerto Real y Río de San Pedro, se trata del caño de la Cortadura con comunicación con otro caño mayor, el caño de San Pedro ambas zonas en la provincia de Cádiz (Figura 1, B). Presenta una pequeña comunicación con el caño de San Pedro, pero es muy indirecta, por el exterior se antepone el caño y por el interior una sucesión de lagunas (continuación del caño) y finaliza en una amplia marisma con multitud de canales. Además la construcción de

carreteras interrumpe la circulación natural del agua a través del caño, la cual circula en varios tramos por tuberías bajo la carretera. Esto ocasiona una circulación peculiar, por un lado tiene una circulación constante marcada por la periodicidad de la marea pero por otro lado ésta perturbación mareal se ve retrasada y reducida en intensidad debido a la limitación de flujo de agua. Así es una zona con baja velocidad de corriente, renovación limitada y muy somera que es el hábitat para diversas aves y crustáceos (*Uca tangeris*) entre otros.



**Figura 1. Localización zona 1 ,SantIbañez (36°28'7.06"N, 6°15'9.67"O) y zona 2, caño de la Cortadura (36°31'34.40"N, 6°13'4.17"O). En la provincia de Cadiz, España.**

## **2.2. Procedimiento experimental**

La producción neta de epífitos en praderas naturales de *C. nodosa* se ha medido para apreciar si depende de las condiciones bióticas-abióticas de la zona o de las características de las plantas, como pueden ser la morfometría o los productos naturales. Las condiciones bióticas-abióticas vienen determinadas por las características de la zona de estudio, se seleccionaron las dos zonas ya nombradas con la intención de estudiar este factor. Se estudiaron dos poblaciones con diferentes morfometrías para apreciar si existen diferencias y con la intención de observar el efecto de la síntesis de productos naturales de *C. nodosa*, se creó un sustrato de fijación para los epífitos que no presentara productos naturales *antifouling*. Mediante sustancias *antifouling* las plantas dificultan la fijación de las algas sobre sus hojas, además de otros procesos que lleva a cabo que interfieren en el crecimiento de los epífitos. Se estimó la producción neta de epífitos sobre plantas artificiales (a partir de ahora llamados *mimics*; Brun et al., 2012) situados junto a los haces y se obtuvo una producción que se considera equivalente a la producción sin este efecto. Los *mimics* son una reproducción de los haces de estas plantas, están compuestos por una parte aérea y otra subterránea. La parte aérea está constituida por un tubo de silicona hueco sellado por los extremos y la parte subterránea está formada por una varilla de madera que ancla en *mimic* al sedimento. El tubo tiene 35 cm de largo y 0,68 cm de diámetro y la varilla mide 30 cm de largo y 0,43 cm de diámetro.

### **2.2.1. Producción de epífitos y crecimiento de las hojas**

En cada zona se seleccionaron 30 haces del interior de la pradera de forma aleatoria, asegurando que mantuvieran una parte de rizoma y raíces para asegurar su supervivencia. Las plantas una vez recogidas se transportaron en bolsas de red húmedas y éstas en neveras aislantes hasta el laboratorio (Figura 3). Allí se mantuvieron en acuarios con agua de mar filtrada y con aireación.

En el laboratorio se limpiaron las hojas de sedimento adherido sumergiéndolas en agua de mar filtrada, y se eliminaron los epífitos que tenían adheridos (véase 2.2.3. Abundancia epífita, para conocer su posterior aprovechamiento), mediante un suave raspado con una hoja de bisturí (Penhale ,1977).

Una vez separados los epífitos que tenían adheridos, las plantas se marcaron mediante la técnica del marcado (*punching*), atravesando la hoja más joven situada en el interior del haz con un fino hilo de nilón y anudándolo un centímetro por encima de la base de la hoja (Peralta et al. ,2000). Cada haz marcado y limpio de epífitos se sujetó a una boya y a una varilla de anclaje y fue numerado (Figura 2).

Seguidamente las plantas marcadas, se trasladaron al campo (a ambas zonas) y se replantaron en el interior de las praderas naturales, tratando de seleccionar zonas con valores de cobertura similar y que no quedaran en emersión durante la marea baja.

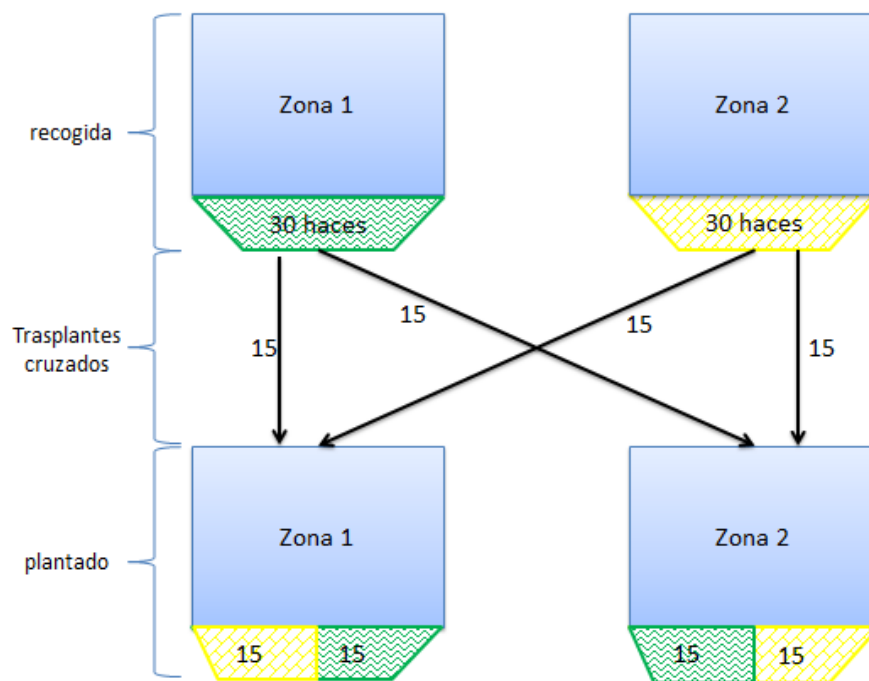
Las plantas permanecieron en el campo durante un periodo de 30 días aproximadamente. Con el objetivo de analizar las variaciones según la zona (zona 1 y 2), y las diferencias debidas a las características de las plantas, se realizaron trasplantes cruzados, además de replantes en la misma zona (Figura 4). Además se colocaron diez *mimics* por zona intercalados con las plantas reales.



**Figura 3 Proceso de selección y transporte de los haces.**



**Figura 2 Haz preparado para su replantación**



**Figura 4 Representación de los trasplantes cruzados**

Transcurrido el periodo experimental de 30 días, tanto las plantas, como los *mimics* se recogieron del campo y se llevaron en frío y oscuridad hasta el laboratorio, donde se procedió a realizar un lavado previo. Tras este lavado, los epífitos retirados del mismo modo al descrito anteriormente, se depositaron en un sobre de papel de aluminio de peso conocido, uno por cada hoja conociendo su número (el número se establece en función de la edad de la hoja siendo 1 la más antigua). Los sobres con epífitos se secaron a 60°C durante 48 horas y se procedió a su pesado, mediante el secado se obtiene el peso seco, sin agua (abreviado como p.s.). Conociendo el peso final de epífitos y el tiempo transcurrido puede calcularse la producción neta de epífitos por hoja y día, siguiendo la siguiente fórmula:

$$produccion \left( \frac{g}{hoja \times dia} \right) = \frac{peso\ seco\ hoja\ (g)}{t\ (dia)}$$

Tras el cálculo de la producción neta por hoja se puede escalar a producción neta por haz y día, conociendo las producciones de todas las hojas de cada haz y con la fórmula:

$$\sum produccion\ hoja\ i \left( \frac{g}{hoja\ y\ día} \right) = produccion \left( \frac{g}{haz\ y\ día} \right)$$

También se midió el crecimiento ocurrido durante el periodo de experimentación, midiendo la longitud de la hoja desde la vaina hasta la marca del *punching*, restando el centímetro que se dejó de margen durante el proceso de marcado.

### 2.2.2. Escalado de la producción primaria neta epífita en su entorno

Para escalar la producción neta generada por las algas epífitas a superficie de pradera y así conocer su contribución en las comunidades dominadas por fanerógamas marinas es necesario conocer la densidad de haces por unidad de superficie en ambas localizaciones estudiadas. Para ello se tomaron muestras de la biomasa contenida en un área mínima de 20 x 20cm y se realizó un recuento del número de haces, tanto para la zona del caño como en Santibañez, para obtener los datos de densidad en Santibañez se solicitaron, para alguna estación, al programa de seguimiento FAMAR que lleva 10 años realizándose.

Conociendo la producción por haz y día (g p.s./haz y día) y la densidad de haces en las áreas mínimas obtenemos la producción neta por metro cuadrado y día (g p.s./m<sup>2</sup> y día):

$$Prd \text{ por superficie y día } \left( \frac{g}{m^2 \times día} \right) = prd \text{ por haz y día } \left( \frac{g}{haz \times día} \right) \times densidad \left( \frac{haces}{m^2} \right)$$

*prd* = producción

Y:

$$densidad \left( \frac{haces}{400(cm^2)} \right) \times 25 = densidad \left( \frac{haces}{m^2} \right)$$

Con el objetivo de analizar la producción anual neta se realizó la integración de la función de variación de la producción neta diaria (g/m<sup>2</sup> y día). Integrando para un total de 365, para todos los grupos de estudio, *mimics* y plantas, para las dos zonas y dependiendo de su proveniencia original. Se utilizó el software KaleidaGraph.

Se realizó el escalado para todas las praderas de la Bahía de Cádiz utilizando el dato de 1700 hectáreas de praderas de *Cymodocea nodosa* en toda la bahía (Brun com. pers.)

### 2.2.3. Abundancia epífita

La abundancia de epífitos presente en la zona se ha medido a partir de las mismas plantas seleccionadas para estimar la producción. Mediante el raspado previo para la preparación de las plantas se extrajeron los epífitos y se utilizaron para la estimación de la abundancia. Durante el raspado de cada hoja se fue depositando el residuo en sobres de aluminio identificados según la planta y la hoja de la que provenían, gracias al lavado previo de las plantas en agua de mar los restos de sedimento no fueron introducidos en los sobres. Los sobres fueron depositados en una estufa a 60° C durante 48 horas con lo que se eliminó el agua de las muestras. Pesándolas posteriormente se obtuvo el peso seco (g p.s.). Conociendo la biomasa por hoja y por lo tanto por haz (sumando las biomásas de todas las hojas de cada planta), se puede escalar la abundancia por unidad de superficie utilizando los datos de densidad de haces de las praderas mediante la siguiente formula:

$$Abundancia \left( \frac{g \text{ p.s.}}{m^2} \right) = Abundancia \left( \frac{g \text{ p.s.}}{\text{haz}} \right) * densidad \text{ de haces } \left( \frac{\text{haces}}{m^2} \right)$$

### 2.2.4. Análisis Estadísticos

Para realizar los cálculos estadísticos se utilizó el programa Rcommander. Para la comparación de medias (abundancia epífita, producción por haz y día y producción por unidad de superficie y día) se realizaron los correspondientes test ANOVA con un nivel de significación del 5%, y realizando todas las comparaciones 2 a 2. Previamente a la realización de los test ANOVA se comprobó la normalidad y la homocedasticidad y en el caso de que los datos no presentaran estas características se realizó una alternativa no paramétrica, el test de Kruskal-Wallis. En el caso de haber usado la alternativa no paramétrica se ha indicado con un asterisco (“\*”) junto al p-valor.

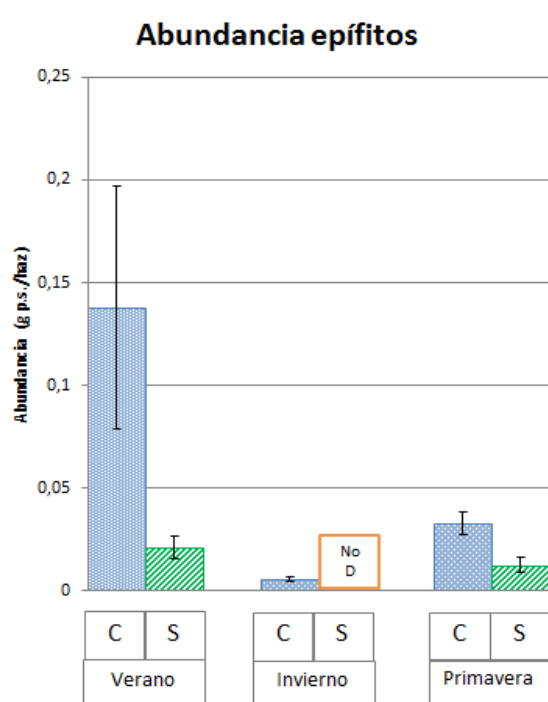
Para el cálculo de la desviación típica y del error típico también se utilizó el software ya citado. En todas las gráficas se expresa el error estándar de las medias, con signo positivo y negativo.



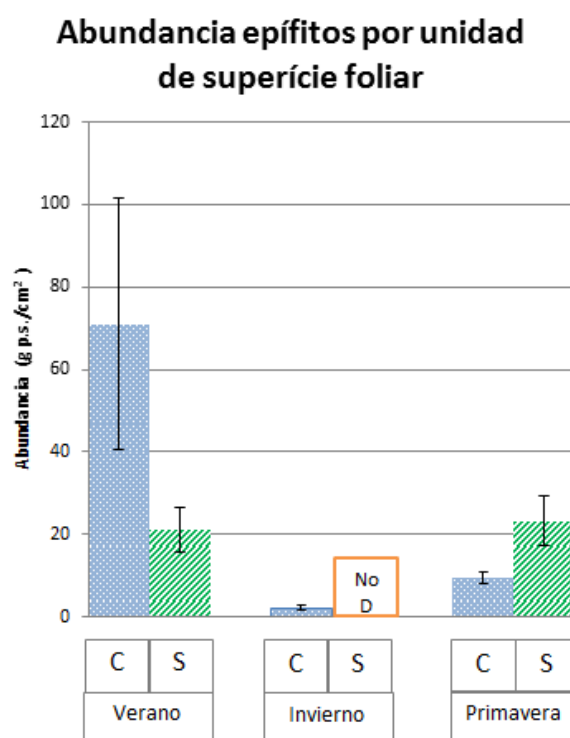
### 3. Resultados

#### 3.1. Abundancia epífitos

La abundancia de epífitos presente en el medio por haz (Figura 5) no presenta la misma forma que la abundancia escalada por unidad de superficie de pradera (Figura 6). Existen diferencias significativas en la abundancia del caño en verano y en invierno, entre el verano y la primavera las semejanzas no están muy marcadas con un p-valor muy cercano al nivel de significación (Tabla 1).



**Figura 5** Abundancia estacional epífita (g/haz). “No D” indica la falta de datos en la estación de invierno zona de Santibañez. “C” y “S” indican la zona del caño y la de



**Figura 6** Abundancia estacional epífita (g/cm²). “No D” indica la falta de datos en la estación de invierno zona de Santibañez. “C” y “S” indican la zona del caño y la de Santibañez



P-valores ANOVA abundancia de epifitos (g p.s./haz) entre estaciones			
Caño		Santibañez	
Estaciones comparadas	p-valor	Estaciones comparadas	p-valor
Verano-Invierno	0.0120	Verano-Invierno	ND
Invierno-Primavera	0.9485	Invierno-Primavera	ND
Verano-Primavera	0.0595	Verano-Primavera	0.9996
p-valores ANOVA abundancia de epifitos por superficie de pradera (g p.s./m <sup>2</sup> ) entre estaciones			
Caño		Santibañez	
Estaciones comparadas	p-valor	Estaciones comparadas	p-valor
Verano-Invierno	0.0134	Verano-Invierno	ND
Invierno-Primavera	0.9962	Invierno-Primavera	ND
Verano-Primavera	0.0272	Verano-Primavera	0.9178

**Tabla 1 p-valores de la abundancia de epifitos por haz (g p.s./haz) entre las distintas fechas o estaciones de muestreo y comparativa medias de la abundancia de epifitos por superficie de pradera (g p.s./m<sup>2</sup>) entre las distintas fechas o estaciones de muestreo. “ND” expresa la falta de datos.**

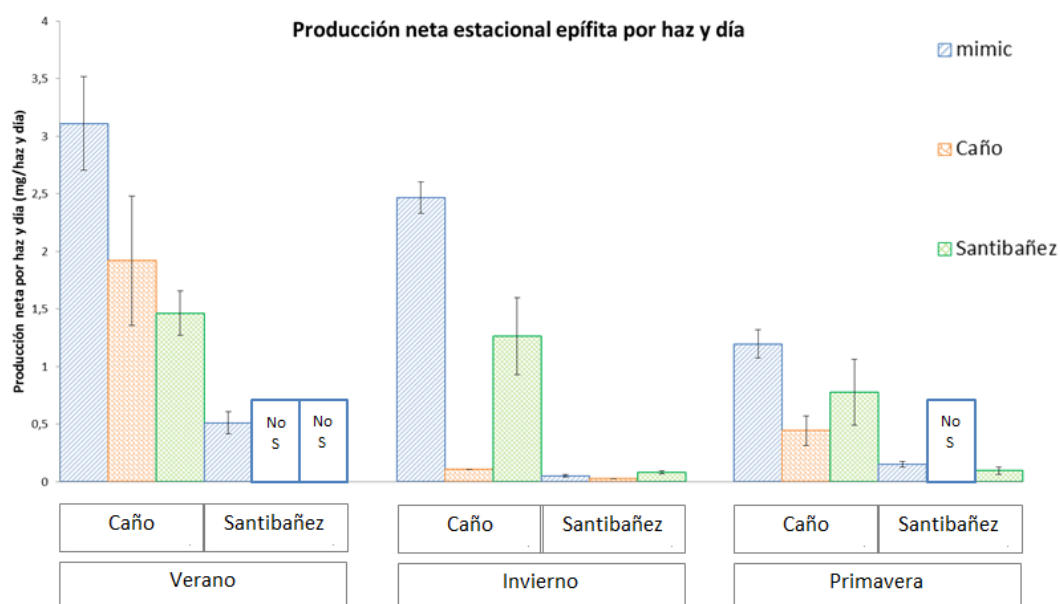
### 3.2. Producción de epifitos

En la Figura 7 vemos de una forma ilustrativa la diferencia entre un *mimic* limpio y preparado para su colocación y un *mimic* que acaba de ser recogido de la zona de muestreo.



**Figura 7 Comparación de un mimic antes (izquierda) y después (derecha) del periodo de experimentación, junto con la herramienta de extracción (bisturí)**

Observando la Figura 8, que expresa la producción neta por cada haz y día y la producción neta por *mimic* y día según la zona y la estación, encontramos una disminución en la producción generada sobre *mimics* a medida que avanza el periodo de estudio, observamos una disminución general desde el verano a la primavera, también disminuye la producción del invierno a la primavera, el mínimo ocurre en primavera. En Santibañez aparece el mínimo en invierno y un aumento en primavera (Tabla 2). Entre el verano y el invierno en la producción ocurrida en los mimics no existen diferencias significativas.



**Figura 8 Producción neta diaria en distintas estaciones por haz, la producción esta expresada en mg de peso seco por cada haz y día. “No S” hace referencia a grupos de plantas que no sobrevivieron a los trasplantes.**

p-valores ANOVA de producción (mg/haz y día) entre <i>mimics</i> del caño de las distintas estaciones del año		p-valores ANOVA de producción (mg/haz y día) entre <i>mimics</i> de Santibañez de las distintas estaciones del año	
Estaciones comparadas	p-valor	Estaciones comparadas	p-valor
Verano - Invierno	0.08072*	Verano - Invierno	<0.01*
Invierno - primavera	<0.01	Invierno - primavera	<0.01
Verano -Primavera	<0.01*	Verano -Primavera	<0.01*

**Tabla 2 p-valores de producción de la misma zona entre las distintas estaciones.**

En todas las estaciones del año la producción en *mimics* del caño es mayor a sus homólogos de Santibañez existiendo diferencias significativas, véanse p-valores en la Tabla 3

p-valores ANOVA de producción (mg/haz y día) entre <i>mimics</i> del caño y <i>mimics</i> de Santibañez.	
Estación del año	p-valor
Verano	<0.01*
Invierno	<0.01*
Primavera	<0.01*

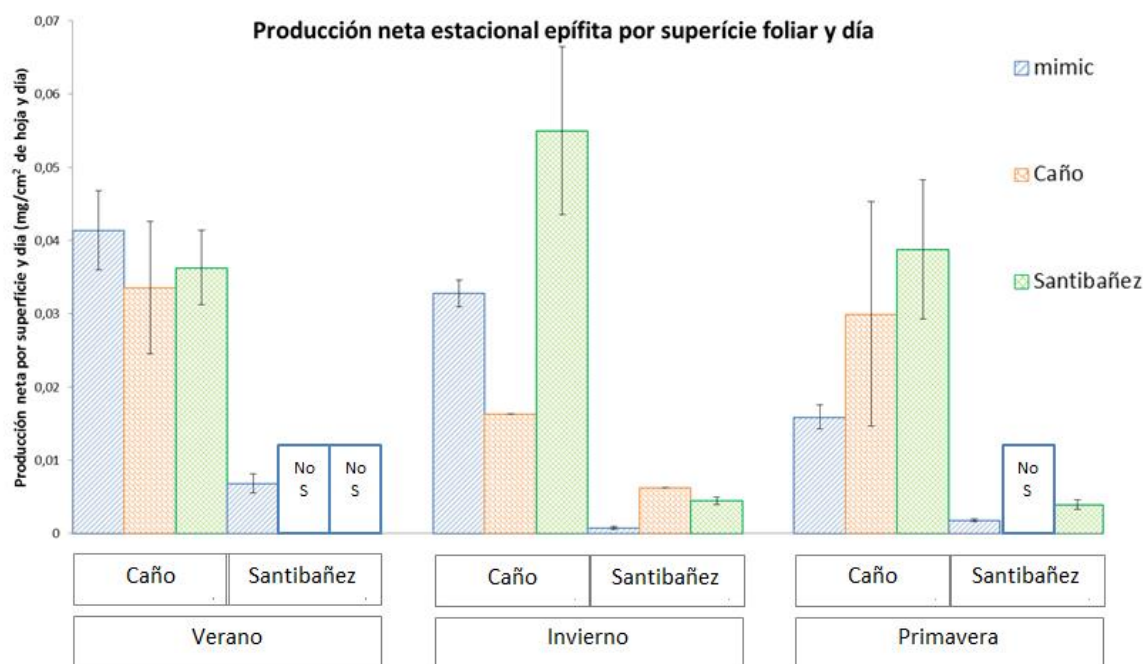
**Tabla 3 p-valores de la producción (mg/haz y día) entre *mimics* del caño y *mimics* de Santibañez**

También la producción neta generada sobre los *mimics* del caño supera a la producción generada por los haces situados en el mismo lugar excepto en primavera (Tabla 4).

p-valores ANOVA producción (mg/haz y día) entre <i>mimics</i> y plantas de la misma estación. En la zona del caño.	
Estación del año	p-valor
Verano	0.0197
Invierno	0.0172*
Primavera	0.0143*

**Tabla 4 p-valores de la producción (mg/haz y día) ente *mimics* y plantas para el Caño**

Si observamos la producción neta normalizada por centímetro cuadrado de superficie epifitable (Figura 9) el comportamiento cambia en algunos aspectos, las variaciones de las producciones en los *mimics* a lo largo de las estaciones y entre zonas actúan de la misma forma (mismos p-valores ya que las superficies son iguales). Las producciones entre *mimics* y plantas de la misma zona y estación del año se hacen mucho más semejantes no presentando diferencias significativas en la zona del caño y siendo superiores las producciones netas de las plantas por cm<sup>2</sup> en Santibañez (Tabla 5).



**Figura 9** Producción neta diaria de las distintas estacines epífita normalizada por  $\text{cm}^2$  de hoja (mg de peso seco por  $\text{cm}^2$  de hoja y día). “No S” hace referencia a grupos de plantas que no sobrevivieron a los trasplantes.

p-valores ANOVA producción ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ y día) entre <i>mimics</i> y plantas de la misma estación. En la zona del caño.	
Estación del año	p-valor
Verano	0.468
Invierno	0.135
Primavera	0.9326*
p-valores ANOVA producción ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ y día) entre <i>mimics</i> y plantas de la misma estación. En la zona de Santibañez	
Estación del año	p-valor
Invierno	0.0001675*
Primavera	0.02077*

**Tabla 5** p-valores de la producción ( $\text{mg}/\text{cm}^2$  y día) ente *mimics* y plantas para el Caño

La producción total estimada por metro cuadrado de pradera y año (g p.s./m<sup>2</sup> y año) es de 279.49 (g p.s./m<sup>2</sup> y año) en los *mimics* del caño y 39.69 (g p.s./m<sup>2</sup> y año) los de Santibañez.

Las plantas replantadas en su zona de origen han generado una producción neta de 140.15 (g p.s./m<sup>2</sup> y año) en el caño y 16.47 (g p.s./m<sup>2</sup> y año) en Santibañez lo que representa las producciones que se dan allí. Son menores que en los *mimics*, aproximadamente la mitad.

Las plantas de Santibañez trasplantadas al caño han producido menos biomasa epífita neta, 122.75 (g p.s./m<sup>2</sup> y año) que las plantas del caño replantadas allí (140.15 (g p.s./m<sup>2</sup> y año)).

Para valores generales de las praderas de la Bahía de Cádiz se estima que la producción es aproximadamente de 2380 toneladas al año si el comportamiento general se asemejara a las condiciones del caño. Si las condiciones de las praderas de fanerógamas marinas de la Bahía de Cádiz se asemejan a las praderas estudiadas en Santibañez la producción epífita neta se estima que es de 280 toneladas al año.

## **4. Discusión**

### **4.1. Aporte de producción neta epífita a la producción neta total de las praderas de fanerógamas marinas**

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo de fin de grado se demuestra que en la pradera de *Cymodocea nodosa*, que se encuentra en la zona del caño, la producción epífita comporta un 12.3% de la producción neta de *C. nodosa*, es decir, de una producción de 1000 (g p.s./m<sup>2</sup> y año) para praderas de *Cymodocea nodosa* de la bahía de Cádiz (FAMAR) los epífitos aportan 140.15 (g p.s./m<sup>2</sup> y año).

Para la zona de Santibañez el aporte es del 1.62 % de la producción de las praderas de Santibañez.

Los valores obtenidos para la producción en el caño son valores menores a lo estimado por otros autores como (Morgan y Kitting ,1984), que indican relaciones del 20 al 60% y en Santibañez las diferencias se agudizan. Estas diferencias pueden ser debidas a las

características de la bahía de Cádiz pero es necesario continuar con los estudios al respecto para tener una mayor convicción de estos resultados.

#### **4.2. *Mimics* como herramienta para el estudio de la producción epífita**

Sobre la base de la comparación de producciones netas ocurridas sobre las plantas artificiales y las plantas reales se demuestra la adecuación de la utilización de los *mimics* para estimar la producción epífita. Esta afirmación está basada en los resultados del caño, los cuales presentan mayor robustez al representar todas las estaciones del año estudiadas y al haber dado mejor resultado la metodología para este sistema en particular. Los resultados de Santibañez son más escasos y presentan déficits en algunos grupos estudiados, como se puede observar en los resultados aparecen grupos, como las plantas trasplantadas en verano a Santibañez o las plantas provenientes del caño replantadas en Santibañez en la estación de primavera, donde no sobrevivió ningún ejemplar trasplantado. Para continuar con estudios relacionados se debe mejorar la metodología para asegurar una mayor supervivencia de las plantas trasplantadas. Parece que el ambiente de Santibañez resulta un ambiente más estresante para las plantas ya que se han dado menores tasas de supervivencia a los trasplantes que en el caño. Para reafirmar esta suposición también se han observado menores tasas de supervivencia en plantas provenientes del caño, es decir las plantas provenientes de Santibañez han sido más resistentes al estrés del trasplante. Continuando con la adecuación de los *mimics* para este estudio cabe indicar que responden adecuadamente cuando los datos son tratados por unidad de superficie foliar. Es decir, se han obtenido similitudes razonables (p-valores altos) al comparar la producción epífita por unidad de superficie epifitable y día, entre *mimics* y plantas en la misma zona y al mismo tiempo.

Es recomendable, para estudios futuros, adecuar el tamaño de los *mimics* para que resulten equivalentes en superficie útil a los haces de cada zona y así evitar posibles errores derivados.

No se observa el efecto de los productos naturales *antifowling* en la producción neta.

### **4.3. Variaciones estacionales de la producción**

La evolución de la producción ha sido decreciente de verano a invierno con valores que pasan de 0.98 g p.s./m<sup>2</sup> y día a 0.046 g p.s./m<sup>2</sup> y día en la zona del caño, ( basado en valores de producción neta de las plantas del caño). Son semejantes a los obtenidos por Penhale en 1977 con 1.05 g p.s./m<sup>2</sup> y día de máximo y 0.21 g p.s./m<sup>2</sup> y día de mínimo. Al igual que en los resultados de Penhale aparece un repunte en la producción neta de primavera.

Para determinar el comportamiento de la producción en la zona de Santibañez es necesaria más información, dicha información se podrá obtener si se mejora la metodología referente a la supervivencia de los trasplantes.

La producción por superficie epifita, utilizando los resultados de la producción en mimics, también presenta el mínimo en invierno y repunta en primavera en la zona de Santibañez, en la zona del caño el valor de invierno es superior al de primavera. Al no existir diferencias significativas entre las producciones netas del verano y del invierno en el caño conduce a pensar que el valor de invierno es atípico, para confirmar o rechazar esta hipótesis sería necesario continuar estudiando la producción de verano en el caño durante varios veranos.

### **4.4. Similitudes entre el comportamiento de la abundancia y el de la producción**

Se observa el mismo comportamiento decreciente durante el paso del verano al invierno, es decir, existe un decrecimiento de la producción y simultáneamente un decrecimiento de la abundancia epífita. La abundancia mínima se da en invierno.

Encontrándose el mínimo de abundancia en invierno y el mínimo de producción en determinados casos de este estudio y en lo estudiado por Penhale (1997), parece ser la estación más desfavorable para los organismos epífitos.

### **4.5. Efecto de las variaciones en las características ambientales del entorno**

Se observó con este estudio que la producción en el caño, independientemente de la época del año, fue mayor que la ocurrida en Santibañez al mismo tiempo.



La producción de epífitos se ve afectada por el grado de eutrofización (Williams y Ruckelshaus ,1993) lo que lleva a pensar que los niveles de nutrientes en el agua del caño son más elevados que el Santibañez. Un estudio futuro que analizara estas concentraciones determinaría si están relacionados estos dos fenómenos. Entre las dos zona también hay importantes diferencias de renovación de agua, siendo el caño con su circulación restringida una zona con peor renovación y menor hidrodinámica, lo que parece indicar que una buena tasa de renovación disminuye la producción de epífitos.

Ambos efectos, eutrofización y renovación de agua están íntimamente relacionados con lo que parece ser un factor determinante en la producción de epífitos.

#### **4.6. Efecto de las diferencias de producción epífita entre dos poblaciones de fanerógamas diferentes**

Los resultados obtenidos en este estudio no demuestran un patrón, ni diferencias constantes, entre la producción ocurrida en plantas del caño y plantas de la zona de Santibañez. Este resultado no demuestra que dichas diferencias no existan pero debido a que la mortalidad ha sido más elevada para plantas del caño que para plantas de Santibañez este resultado no es concluyente. Requiere una mejora metodológica futura para apreciar estas diferencias.

### **5. Conclusiones**

- 1- La contribución de los epífitos en la producción primaria neta total de las praderas de *Cymodocea nodosa* en la bahía de Cádiz está comprendida entre el 12.3 y el 1.63%.
- 2- Los *mimics* son una herramienta adecuada y útil para la estimación de la producción epífita en praderas de fanerógamas marinas.
- 3- En la Bahía de Cádiz el invierno es la época más desfavorable para los organismos epífitos de las praderas de fanerógamas marinas.
- 4- Las praderas de *Cymodocea nodosa* que se encuentran en zonas con mayor renovación de agua y que están sometidas a una mayor renovación de agua,

mejor hidrodinámica y menor eutrofización presentan menores tasas de producción neta.

## 6. Bibliografía

Beck, M.W., Heck Jr, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K. y Minello, T.J., 2001. The Identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates: A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *Bioscience*, vol. 51, no. 8.

Brauner, J.F., 1975. Seasonality of epiphytic algae on *Zostera marina* at Beaufort, North Carolina. *Nova Hedwigia*, vol. 26, no. 1.

Brouns, J.J.y Heijs, F.M., 1986. Production and biomass of the seagrass *Enhalus acoroides*(Lf) Royle and its epiphytes. *Aquatic Botany*, vol. 25.

Brush, M.J.y Nixon, S.W., 2002. Direct measurements of light attenuation by epiphytes on eelgrass *Zostera marina*. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 238.

Bulthuis, D.A.y Woelkerling, W.J., 1983. Biomass accumulation and shading effects of epiphytes on leaves of the seagrass, *Heterozostera tasmanica*, in Victoria, Australia. *Aquatic Botany*, vol. 16, no. 2.

Daehnick, A., Sullivan, M. y Moncreiff, C., 1992. Primary production of the sand microflora in seagrass beds of Mississippi Sound. *Botanica Marina*, vol. 35, no. 2.

Duarte, C.M., Marbà, N., Gacia, E., Fourqurean, J.W., Beggins, J., Barrón, C. y Apostolaki, E.T., 2010. Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 24, no. 4.

González-Ortiz V (2009). Las fanerógamas marinas como islas de diversidad en el sistema litoral: un caso de estudio en el Parque Natural Bahía de Cádiz. Tesis de Master, Universidad de Cádiz, 56 pp.

Heck Jr, K.L.y Wetstone, G.S., 1977. Habitat complexity and invertebrate species richness and abundance in tropical seagrass meadows. *Journal of Biogeography*.

Heck, K., Hays, G. y Orth, R., 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 253.

Heijs, F.M., 1984. Annual biomass and production of epiphytes in three monospecific seagrass communities of *Thalassia hemprichii*(Ehrenb.) Aschers. *Aquatic Botany*, vol. 20, no. 3.

Hemminga, M.A. y Duarte, C.M., 2000. *Seagrass ecology*. Cambridge University Press.

Hernández, I., Morris, E., Vergara, J.J., de los Santos, C., González-Ortiz, V., Villazán, B., Peralta, G., Olivé, I., Brun, F., García-Marín, P., Lara, M., Perez-Llorens, J.L., 2010. Praderas de fanerógamas marinas en la bahía de Cádiz: conservación y gestión. *Congreso nacional del medio ambiente, comunicación técnica*.

Humm, H.J., 1964. Epiphytes of the sea grass, *Thalassia testudinum*, in Florida. *Bulletin of Marine Science*, vol. 14, no. 2.

Kendrick, G. y Burt, J., 1997. Seasonal changes in epiphytic macro-algae assemblages between offshore exposed and inshore protected *Posidonia sinuosa* Cambridge et Kuo seagrass meadows, Western Australia. *Botanica Marina*, vol. 40, no. 1-6.

Kendrick, G.A., Walker, D.I. y McComb, A.J., 1988. Changes in distribution of macro-algal epiphytes on stems of the seagrass *Amphibolis antarctica* along a salinity gradient in Shark Bay, Western Australia. *Phycologia*, vol. 27, no. 2.

McRoy, C.P. y Goering, J.J., 1974. Nutrient transfer between the seagrass *Zostera marina* and its epiphytes.

Morgan, M.D. y Kitting, C.L., 1984. Productivity and utilization of the seagrass *Halodule wrightii* and its attached epiphytes. *Limnology and Oceanography*, vol. 29, no. 5.

Penhale, P.A., 1977. Macrophyte-epiphyte biomass and productivity in an eelgrass (*Zostera marina* L.) community. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 26, no. 2.

Peralta G, Garcia-Sanchez MP, de los Santos CB, Lara M, Olivé I, Morris EP, Brun FG, Vergara JJ, Hernández I, Pérez-Lloréns, JL (2008). Four years of seasonal monitoring of *Cymodocea nodosa* in Cadiz Bay Natural Park. *Resúmenes del 8th International Seagrass Biology Workshop* ISBW8: 55.

Peralta, G., Perez-Llorens, J.L., Hernandez, I., Brun, F., Vergara, J.J., Bartual, A., Galvez, J.A. y Garcia, C.M., 2000. Morphological and physiological differences between two morphotypes of *Zostera noltii* Hornem. from the south-western Iberian Peninsula. *Helgoland Marine Research*, vol. 54, no. 2-3.

Pollard, P.C.y Kogure, K., 1993. The role of epiphytic and epibenthic algal productivity in a tropical seagrass, *Syringodium isoetifolium* (Aschers.) Dandy, community. *Marine and Freshwater Research*, vol. 44, no. 1.

Reyes-Vasquez, G., 1970. Studies on the diatom flora living on *Thalassia testudinum* König in Biscayne Bay, Florida. *Bulletin of Marine Science*, vol. 20, no. 1.

Williams, S.L.y Ruckelshaus, M.H., 1993. Effects of nitrogen availability and herbivory on eelgrass (*Zostera marina*) and epiphytes. *Ecology*, vol. 74, no. 3.